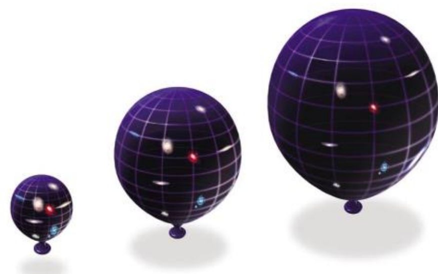
VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

ПАРАДОКСЫ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА
Линевивер Ч., Дэвис Т.
В мире науки 2005. № 7.

Линевивер Чарльз (Charles H. Lineweaver) и **Дэвис Тамара** (Tamara M. Davis) – астрономы из австралийской обсерватории Маунт-Стромло. В начале 1990-х гг. в Калифорнийском университете в Беркли Линевивер входил в группу ученых, открывших с помощью спутника COBE флуктуации реликтового излучения. Он защитил диссертацию не только по астрофизике, но и по истории и английской литературе. Дэвис работает над созданием космической обсерватории Supernova/Acceleration Probe (Исследователь сверхновых звезд и ускорения).

Даже астрономы не всегда правильно понимают расширение Вселенной



Раздувающийся воздушный шар – старая, но хорошая аналогия расширения Вселенной. Галактики, расположенные на поверхности шара, неподвижны, но поскольку Вселенная расширяется, расстояние между ними возрастает, а размеры самих галактик не увеличиваются.

В июле 1965 г. ученые объявили об открытии явных признаков расширения Вселенной из более горячего и плотного исходного состояния. Они нашли остывающее послесвечение Большого взрыва – реликтовое излучение. С этого момента расширение и охлаждение Вселенной легло в основу космологии. Космологическое расширение позволяет понять, как формировались простые структуры и как они постепенно развивались в сложные.

Спустя 75 лет после открытия расширения Вселенной многие ученые не могут проникнуть в его истинный смысл. Джеймс Пиблз (James Peebles), космолог из Принстонского университета, изучающий реликтовое излучение, писал в 1993 г.: "Мне кажется, что даже специалисты не знают, каково значение и возможности модели горячего Большого взрыва".

Известные физики, авторы учебников по астрономии и популяризаторы науки порою дают неверную или искаженную трактовку расширения Вселенной, которое легло в основу модели Большого взрыва. Что же мы имеем в виду, когда говорим, что Вселенная расширяется? Несомненно, сбивает с толку то обстоятельство, что теперь говорят об ускорении расширения, и это ставит нас в тупик.

ОБЗОР: КОСМИЧЕСКОЕ НЕДОРАЗУМЕНИЕ

- Расширение Вселенной – одна из фундаментальных концепций современной науки – до сих пор получает различное толкование.
- Не следует воспринимать термин "Большой взрыв" буквально. Он не был бомбой, взорвавшейся в центре Вселенной. Это был взрыв самого пространства, который произошел повсеместно, подобно тому, как расширяется поверхность надуваемого воздушного шара.
- Понимание различия между расширением пространства и расширением в пространстве крайне важно для того, чтобы понять, каков размер Вселенной, скорость разбегания галактик, а также возможности астрономических наблюдений и природы ускорения расширения, которое, вероятно, испытывает Вселенная.
- Модель Большого взрыва описывает лишь то, что случилось после него.

Что такое расширение?

Когда расширяется что-нибудь привычное, например, влажное пятно или Римская империя, то они становятся больше, их границы раздвигаются, и они начинают занимать больший объем в пространстве. Но Вселенная, похоже, не имеет физических ограничений, и ей некуда двигаться.

Расширение нашей Вселенной очень похоже на надувание воздушного шара. Расстояния до далеких галактик увеличиваются. Обычно астрономы говорят, что галактики удаляются или убегают от нас, но не перемещаются в пространстве, как осколки "бомбы Большого взрыва". В действительности расширяется пространство между нами и галактиками, хаотически движущимися внутри практически неподвижных скоплений. Реликтовое излучение заполняет Вселенную и служит системой отсчета, подобной резиновой поверхности воздушного шара, по отношению к которой движение и может быть измерено.

Находясь вне шара, мы видим, что расширение его искривленной двухмерной поверхности возможно только потому, что она находится в трехмерном пространстве. В третьем измерении располагается центр шара, а его поверхность расширяется в окружающий его объем. Исходя из этого, можно было бы заключить, что расширение нашего трехмерного мира требует наличия у пространства четвертого измерения. Но согласно общей теории относительности Эйнштейна, пространство динамично: оно может расширяться,

сжиматься и изгибаться.

Дорожная пробка

Вселенная самодостаточна. Не требуются ни центр, чтобы расширяться от него, ни свободное пространство с внешней стороны (где бы она ни находилась), чтобы туда расширяться. Правда, некоторые новейшие теории, такие как теория струн, постулируют наличие дополнительных измерений, но при расширении нашей трехмерной Вселенной они не требуются.

В нашей Вселенной, как и на поверхности воздушного шара, каждый объект отдаляется от всех остальных. Таким образом, Большой взрыв не был взрывом в пространстве, а скорее это был взрыв самого пространства, который не произошел в определенном месте и затем не расширялся в окружающую пустоту. Это произошло всюду одновременно.

Если представить, что мы прокручиваем киноленту в обратном порядке, то увидим, как все области Вселенной сжимаются, а галактики сближаются, пока не столкнутся все вместе в Большом взрыве, как автомобили в дорожной пробке. Но сопоставление тут не полное. Если бы речь шла о происшествии, то вы могли бы объехать затор, услышав сообщения о нем по радио. Но Большой взрыв был катастрофой, которую невозможно избежать. Это похоже на то, как если бы поверхность Земли и все дороги на ней смялись, но автомобили оставались бы прежнего размера. В конце концов машины столкнулись бы, и никакое сообщение по радио не помогло бы предотвратить это.

Так же и Большой взрыв: он произошел повсеместно, в отличие от взрыва бомбы, который происходит в определенной точке, а осколки разлетаются во все стороны.

Теория Большого взрыва не дает нам информации о размере Вселенной и даже о том, конечна она или бесконечна. Теория относительности описывает, как расширяется каждая область пространства, но ничего не говорится о размере или форме. Иногда космологи заявляют, что Вселенная когда-то была не больше грейпфрута, но они имеют в виду лишь ту ее часть, которую мы сейчас можем наблюдать.

У обитателей туманности Андромеды или других галактик свои наблюдаемые вселенные. Наблюдатели, находящиеся в Андромеде, могут видеть галактики, которые недоступны нам, просто из-за того, что они немного ближе к ним; зато они не могут созерцать те, которые рассматриваем мы. Их наблюдаемая Вселенная тоже была размером с грейпфрут. Можно вообразить, что ранняя Вселенная была похожа на кучу этих фруктов, безгранично простирающуюся во всех направлениях. Значит, представление о том, что Большой взрыв был "маленьким", ошибочно. Пространство Вселенной безгранично. И как его ни сжимай, оно таковым и останется.

Быстрее света

Ошибочные представления бывают связаны и с количественным описанием расширения. Скорость, с которой увеличиваются расстояния между галактиками, подчиняется простой закономерности, выявленной американским астрономом Эдвином Хабблом (Edwin Hubble) в 1929 г.: скорость удаления галактики v прямо пропорциональна его расстоянию от нас d, или v = Hd. Коэффициент пропорциональности H называется постоянной Хаббла и определяет скорость расширения пространства как вокруг нас, так и вокруг любого наблюдателя во Вселенной.

Некоторых сбивает с толку то, что не все галактики подчиняются закону Хаббла. Ближайшая к нам крупная галактика (Андромеда) вообще движется к нам, а не от нас. Такие исключения бывают, поскольку закон Хаббла описывает лишь среднее поведение галактик. Но каждая из них может иметь и небольшое собственное движение, поскольку галактики гравитационно воздействуют друг на друга, как, например, наша Галактика и Андромеда. Отдаленные галактики также имеют небольшие хаотические скорости, но при большом расстоянии от нас (при большом значении d) эти случайные скорости ничтожно малы на фоне больших скоростей удаления (v). Поэтому для далеких галактик закон Хаббла выполняется с высокой точностью.

Согласно закону Хаббла, Вселенная расширяется не с постоянной скоростью. Некоторые галактики удаляются от нас со скоростью 1 тыс. км/с, другие, находящиеся вдвое дальше, со скоростью 2 тыс. км/с, и т.д. Таким образом, закон Хаббла указывает, что, начиная с некоторого расстояния, называемого хаббловским, галактики удаляются со сверхсветовой скоростью. Для измеренного значения постоянной Хаббла это расстояние составляет около 14 млрд. световых лет.

Но разве частная теория относительности Эйнштейна не утверждает, что никакой объект не может иметь скорость выше скорости света? Такой вопрос ставил в тупик многие поколения студентов. А ответ состоит в том, что частная теория относительности применима лишь к "нормальным" скоростям – к движению в пространстве. В законе Хаббла речь идет о скорости удаления, вызванного расширением самого пространства, а не движением в пространстве. Этот эффект общей теории относительности не подчиняется частной теории относительности. Наличие скорости удаления выше скорости света никак не нарушает частную теорию относительности. По-прежнему верно, что никто не может догнать луч света.

Растяжение фотонов

Первые наблюдения, показывающие, что Вселенная расширяется, были сделаны между 1910 и 1930 г. В лаборатории атомы испускают и поглощают свет всегда на определенных длинах волн. То же наблюдается и в спектрах далеких галактик, но со смещением в длинноволновую область. Астрономы говорят, что излучение галактики испытывает красное смещение. Объяснение простое: при расширении пространства световая волна растягивается и поэтому ослабевает. Если в течение того времени, пока световая волна дошла до нас, Вселенная расширилась вдвое, то и длина волны удвоилась, а ее энергия ослабла в два раза.

Процесс можно описать в терминах температуры. Испускаемые телом фотоны имеют распределение по энергии, которое в целом характеризуют температурой, указывающей, насколько тело горячее. Когда фотоны движутся в расширяющемся пространстве, они теряют энергию и их температура снижается. Таким образом, Вселенная при расширении охлаждается, как сжатый воздух, вырывающийся из баллона аквалангиста. К примеру, реликтовое излучение сейчас имеет температуру около 3 К, тогда как оно родилось при температуре около 3000 К. Но с того времени Вселенная увеличилась в размере в 1000 раз, а температура фотонов понизилась во столько же раз. Наблюдая газ в далеких галактиках, астрономы прямо измеряют температуру этого излучения в далеком прошлом. Измерения подтверждают, что Вселенная со временем охлаждается.

В связи между красным смещением и скоростью также существуют некоторые противоречия. Красное смещение, вызванное расширением, часто путают с более знакомым красным смещением, вызванным эффектом Доплера, который обычно делает звуковые волны более длинными, если источник звука удаляется. То же верно и для световых волн, которые становятся более длинными, если источник света отдаляется в пространстве.

Доплеровское красное смещение и космологическое красное смещение – вещи абсолютно разные и описываются различными формулами. Первая вытекает из частной теории относительности, которая не принимает во внимание расширение пространства, а вторая следует из общей теории относительности. Эти две формулы почти одинаковы для близлежащих галактик, но различаются для отдаленных.

Согласно формуле Доплера, если скорость объекта в пространстве приближается к скорости света, то его красное смещение стремится к бесконечности, а длина волны становится слишком большой и поэтому недоступной для наблюдения. Если бы это было верно для галактик, то самые отдаленные видимые объекты на небе удалялись бы со скоростью, заметно меньшей скорости света. Но космологическая формула для красного смещения приводит к другому выводу. В рамках стандартной космологической модели галактики с красным смещением около 1,5 (т.е. принимаемая длина волны их излучения на 50% больше лабораторного значения) удаляются со скоростью света. Астрономы уже обнаружили около 1000 галактик с красным смещением больше 1,5. А значит, нам известно около 1000 объектов, удаляющихся быстрее скорости света. Реликтовое излучение приходит с еще большего расстояния и имеет красное смещение около 1000. Когда горячая плазма молодой Вселенной испускала принимаемое нами сегодня излучение, она удалялась от нас почти в 50 раз быстрее скорости света.

Бег на месте

Трудно поверить, что мы можем видеть галактики, движущиеся быстрее скорости света, однако это возможно из-за изменения скорости расширения. Вообразите луч света, идущий к нам с расстояния большего, чем расстояние Хаббла (14 млрд. световых лет). Он движется к нам со скоростью света относительно своего местоположения, но само оно удаляется от нас быстрее скорости света. Хотя свет устремляется к нам с максимально возможной скоростью, он не может угнаться за расширением пространства. Это напоминает ребенка, пытающегося бежать в обратную сторону по эскалатору. Фотоны на хаббловском расстоянии перемещаются с максимальной скоростью, чтобы оставаться на прежнем месте.

Можно подумать, что свет из областей, удаленных дальше расстояния Хаббла, никогда не сможет дойти до нас и мы его никогда не увидим. Но расстояние Хаббла не остается неизменным, поскольку постоянная Хаббла, от которой оно зависит, меняется со временем. Эта величина пропорциональна скорости разбегания двух галактик, деленной на расстояние между ними. (Для вычисления можно использовать любые две галактики.) В моделях Вселенной, согласующихся с астрономическими наблюдениями, знаменатель увеличивается быстрее числителя, поэтому постоянная Хаббла уменьшается. Следовательно, расстояние Хаббла растет. А раз так, свет, который первоначально не достигал нас, может со временем оказаться в пределах хаббловского расстояния. Тогда фотоны окажутся в области, удаляющейся медленнее скорости света, после чего они смогут добраться до нас.

Однако галактика, пославшая свет, может продолжать удаляться со сверхсветовой скоростью. Таким образом, мы можем наблюдать свет от галактик, которые, как и прежде, всегда будут удаляться быстрее скорости света. Одним словом, хаббловское расстояние не фиксировано и не указывает нам границы наблюдаемой Вселенной.

А что в действительности отмечает границу наблюдаемого пространства? Здесь тоже происходит некая путаница. Если бы пространство не расширялось, то самый отдаленный объект мы могли бы наблюдать теперь на расстоянии около 14 млрд. световых лет от нас, т.е. на расстоянии, которое свет преодолел за 14 млрд. лет, прошедших с момента Большого взрыва. Но поскольку Вселенная расширяется, пространство, пересеченное фотоном, расширилось за время его пути. Поэтому текущее расстояние до самого удаленного из наблюдаемых объектов примерно втрое больше – около 46 млрд. световых лет.

Раньше космологи думали, что мы живем в замедляющейся Вселенной и поэтому можем наблюдать все больше и больше галактик. Однако в ускоряющейся Вселенной мы отгорожены границей, вне которой никогда не увидим происходящие события – это космический горизонт событий. Если свет от галактик, удаляющихся быстрее скорости света, достигнет нас, значит, расстояние Хаббла увеличится. Но в ускоряющейся Вселенной его увеличение запрещено. Удаленное событие может послать луч света в нашем направлении, но этот свет навсегда останется за пределом расстояния Хаббла из-за ускорения расширения.

Как видим, ускоряющаяся Вселенная напоминает черную дыру, тоже имеющую горизонт событий, извне которого мы не получаем сигналов. Нынешнее расстояние до нашего космического горизонта событий (16 млрд. световых лет) целиком лежит в пределах нашей наблюдаемой области. Свет, испущенный галактиками, находящимися сейчас дальше космического горизонта событий, никогда не сможет достигнуть нас,

т.к. расстояние, которое сейчас соответствует 16 млрд. световых лет, будет расширяться слишком быстро. Мы сможем увидеть события, происходившие в галактиках прежде, чем они пересекли горизонт, но о последующих событиях мы не узнаем никогда.

Во Вселенной расширяется все?

Люди часто думают, что если пространство расширяется, то и все в нем тоже расширяется. Но это неверно. Расширение как таковое (т.е. по инерции, без ускорения или замедления) не производит никакой силы. Длина волны фотона увеличивается вместе с ростом Вселенной, поскольку в отличие от атомов и планет фотоны не связанные объекты, размеры которых определяются равновесием сил. Изменяющаяся скорость расширения действительно вносит новую силу в равновесие, но и она не может заставить объекты расширяться или сжиматься.

Например, если бы гравитация стала сильнее, ваш спинной мозг сжался бы, пока электроны в позвоночнике не достигли бы нового положения равновесия, чуть ближе друг к другу. Ваш рост немного уменьшился бы, но сжатие на этом прекратилось бы. Точно так же, если бы мы жили во Вселенной с преобладанием сил тяготения, как еще несколько лет назад считало большинство космологов, то расширение замедлялось бы, а на все тела действовало бы слабое сжатие, заставляющее их достигать меньшего равновесного размера. Но, достигнув его, они бы больше не сжимались.

Фактически же расширение ускоряется, что вызвано слабой силой, "раздувающей" все тела. Поэтому связанные объекты имеют размеры немного больше, чем были бы в неускоряющейся Вселенной, поскольку равновесие сил достигается у них при немного большем размере. На поверхности Земли ускорение, направленное наружу, от центра планеты, составляет мизерную долю (10^{-30}) нормального гравитационного ускорения к центру. Если это ускорение неизменно, то оно не заставит Землю расширяться. Просто планета принимает чуть больший размер, чем он был бы без силы отталкивания.

Но все изменится, если ускорение не постоянно, как полагают некоторые космологи. Если отталкивание увеличивается, то это может в конце концов вызвать разрушение всех структур и привести к "Большому разрыву", который произошел бы не из-за расширения или ускорения как такового, а потому что ускорение ускорялось бы.

По мере того как новые точные измерения помогают космологам лучше понять расширение и ускорение, они могут задаться еще более фундаментальными вопросами о самых ранних мгновениях и наибольших масштабах Вселенной. Чем было вызвано расширение? Многие космологи считают, что в этом виноват процесс, называемый "инфляцией" (раздуванием), особый тип ускоряющегося расширения. Но возможно, это лишь частичный ответ: чтобы она началась, похоже, Вселенная уже должна была расширяться. А что относительно наибольших масштабов за пределом наших наблюдений? Расширяются ли разные части Вселенной по-разному, так, что наша Вселенная – это всего лишь скромный инфляционный пузырь в гигантской сверхвселенной? Никто не знает. Но мы надеемся, что со временем мы сможем прийти к пониманию процесса расширения Вселенной.